

# DUST CORE FOR HIGH FREQUENCY AND ITS MANUFACTURE

Publication number: JP11251131

Publication date: 1999-09-17

Inventor: ISHIHARA YUKINARI; ASAKA KAZUO

Applicant: HITACHI POWDERED METALS

Classification:

- international: **H01F1/20; B22F1/02; B22F3/00; H01F1/24; B22F1/02; B22F3/00; H01F1/12; (IPC1-7): B22F1/02; H01F1/20; B22F3/00**

- European: H01F1/24

Application number: JP19980049124 19980302

Priority number(s): JP19980049124 19980302

Report a data error here

## Abstract of JP11251131

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an ideal dust core constitution having a specific resistance of larger than or equal to  $2 \times 10^8 \Omega \text{ cm}$  and a further reduced iron loss, and a method for manufacturing the dust core. **SOLUTION:** A dust core is manufactured by the use of magnetic metal powder coated with insulating films formed through chemical conversion coating, using a phosphate and a thermosetting resin powder. The thickness of the insulating films coating the metal powder is adjusted to 10-100 nm, and the dust core contains the metal powder at a rate higher than or equal to 84 vol.% and the thermosetting resin powder at a rate higher than or equal to  $\geq 1 \text{ wt.}\%$ , so that the specific resistance of the dust core is formed larger than or equal to  $2 \times 10^8 \Omega \text{ cm}$ .

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-251131

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月17日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I	
H 0 1 F	1/20	H 0 1 F	1/20
B 2 2 F	3/00	B 2 2 F	3/00
// B 2 2 F	1/02		1/02
			B
			E

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-49124

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月2日

(71) 出願人 000233572

日立粉末冶金株式会社  
千葉県松戸市稔台520番地

(72) 発明者 石原 千生

千葉県松戸市常磐平1-27-3

(72) 発明者 浅香 一夫

千葉県松戸市稔台687

(74) 代理人 弁理士 山本 秀樹

(54) 【発明の名称】 高周波用圧粉磁心及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上で、鉄損をより低くした理想的な圧粉磁心構成及びその製造方法を実現する。

【解決手段】 燐酸塩化成処理液により表面に絶縁被膜を形成した金属磁性粉末と、熱硬化性樹脂粉末とを用いた圧粉磁心において、金属磁性粉末の表面に形成した前記絶縁被膜の膜厚が $10\text{nm}$ 以上、 $100\text{nm}$ 以下であると共に、圧粉磁心は、容積比で $84\%$ 以上の前記金属磁性粉末と、 $1\text{重量}\%$ 以上の熱硬化性樹脂からなり、得られる固有抵抗が $2\Omega\text{cm}$ 以上に形成されている構成である。

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磷酸塩化成処理液により表面に絶縁被膜を形成した金属磁性粉末と、熱硬化性樹脂とを用いた圧粉磁心において、前記金属磁性粉末の表面に形成した前記絶縁被膜の膜厚が 10 nm 以上、100 nm 以下であると共に、圧粉磁心は、容積比で 84% 以上の前記金属磁性粉末と、1 重量% 以上の熱硬化性樹脂からなり、得られる固有抵抗が 2 Ω cm 以上であることを特徴とする高周波用圧粉磁心。

【請求項 2】 界面活性剤を含む磷酸塩化成処理液により表面に絶縁被膜を形成した金属磁性粉末と、熱硬化性樹脂とを混合した後、圧縮成形すると共に加熱硬化する圧粉磁心の製造方法において、前記金属磁性粉末として、使用金属磁性粉末の 80 重量% 以上が前記絶縁被膜を 10 nm 以上、100 nm 以下の膜厚に形成したものを、混合条件として、前記熱硬化性樹脂 1 重量% 以上を前記金属磁性粉末と混合し、成形条件として、前記金属磁性粉末の圧粉磁心中の容積比を 84% 以上になるよう調整することにより、固有抵抗が 2 Ω cm 以上の圧粉磁心を得ることを特徴とする高周波用圧粉磁心の製造方法。

【請求項 3】 前記熱硬化性樹脂として、平均粒径が 100 μm 以下の熱硬化性樹脂粉末を、前記金属磁性粉末に対し 1～3 重量% の範囲で添加する請求項 2 に記載の高周波用圧粉磁心の製造方法。

【請求項 4】 前記金属磁性粉末と前記熱硬化性樹脂粉末との混合を、通常粉末冶金法で用いられる V 型や W コーン型混合機を用い、回転数が 15～35 rpm の条件で、少なくとも 45 分以上混合する請求項 3 に記載の高周波用圧粉磁心の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、変圧器、リアクトル、サイリスタバルブ、ノイズフィルタ、チョークコイル等の高周波用として好適な圧粉磁心及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 高周波用コイルに用いられる磁心は、低鉄損であり、かつ、高磁束密度であることに加え、それらの磁気特性が高周波領域（1～10 MHz）においても低下しないことが要求される。鉄損には磁心の固有抵抗と関係の大きい渦電流損と、鉄粉の製造の過程およびその後のプロセス履歴から生じる鉄粉内の歪みに影響を受けるヒステリシス損とがある。そして、この鉄損 W は次式 1 のように渦電流損とヒステリシス損の和で示すことができる。式 1 中、f は周波数、Bm は励磁磁束密度、ρ は固有抵抗値、t は材料の厚み、k<sub>1</sub>、k<sub>2</sub> は係数である。

## 【0003】

2

$$\text{【式 1】 } W = (k_1 B m^2 t^2 / \rho) f^2 + k_2 B m^{1.6} f$$

【0004】 渦電流損は式 1 により、周波数の二乗に比例して大きくなり、高周波での特性を向上するためには渦電流損を下げなければならない。渦電流損を下げるには渦電流を小領域に閉じこめる必要があり、磁性粉を圧縮により成形し、かつ、個々の磁性粉粒子が絶縁された構成の圧粉磁心とすると効果が高い。このような圧粉磁心でも、絶縁が不十分であると渦電流損が大きくなる。

10 絶縁被膜を厚くすると磁心中の磁性粉の占める割合が下がり、磁束密度が低下する。この磁束密度を圧粉磁心の密度を上げて向上するとなると、高圧下での圧縮成形となって成形時の歪みが避けられず、ヒステリシス損が大きくなり、鉄損の増大を招くことになる。したがって、圧粉磁心の製作には、密度を下げることなく、磁心の固有抵抗を上げることが重要となる。そのためには薄くて、かつ、絶縁性の良好な絶縁被膜で粉末を覆うことが必須となる。

【0005】 以上の磁性粉の絶縁被膜に関しては、より薄い絶縁被膜を形成する方法として、本願出願人が先に開発した特願平 8-133239 号記載のものがある。この方法は、化学反応により絶縁被膜を形成する場合、磷酸塩化成処理液を改良すると共にその処理液に界面活性剤を入れて表面張力を下げ、該処理液と磁性粉の濡れ性を向上することにより、磁性粉表面に対し良質な絶縁被膜をより薄く均一に形成可能にしたものである。そして、絶縁被膜を形成した金属磁性粉末は、通常、エポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂と混合され、金型で圧縮成形されると共に加熱硬化されて圧粉磁心に製作される。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 このように圧粉磁心は、絶縁被膜で覆われた金属磁性粉末を熱硬化性樹脂の結着力により所定の強度に形成されるが、その場合、前記開発された方法により絶縁された金属磁性粉末を用いても、使用樹脂量等により鉄損 W や固有抵抗 ρ の値が大きく変わる。本出願人はこの圧粉磁心の鉄損 W と固有抵抗 ρ の間の関係について調査し、鉄損 W と固有抵抗 ρ の間に図 1 に示す関係があることを見出した。すなわち、樹脂の成分組成、配合量および絶縁被膜の成分組成を一定にし、絶縁被膜の膜厚を変化させたり、絶縁層形成処理時の乾燥時間を短縮して、故意に錆を発生させて一部の絶縁被膜を破壊させたりと、様々な条件で作製した圧粉磁心の鉄損と固有抵抗とを測定したところ、圧粉磁心の製造条件に関係なく図 1 に示す曲線の関係になることが得られたわけである。したがって、鉄損を低く抑制するためには、固有抵抗が 2 Ω cm 以上であればよいことが分かる。このため、高性能化を図る上では、絶縁被膜の厚さ、金属磁性粉末と熱硬化性樹脂の配合比率等の成形条件の設定が重要となり、適正な磁束密度で、鉄損をより低くする上では更なる的確な圧粉磁心構成、製法の

条件設定及びその説明が求められている。

【0007】本発明の目的は、特に、高周波用圧粉磁心の固有抵抗を $2\Omega\text{cm}$ 以上にすることで鉄損が低い理想的な圧粉磁心構成及びその製造方法を提供することにある。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明者らは、先の開発（特願平8-133239号等）方法を適用した絶縁被膜付きの金属磁性粉末を使用して、特に、固有抵抗に及ぼす様々な因子の影響を解明すべく検討する過程で、金属磁性粉末表面の絶縁被膜の膜厚、使用金属磁性粉末の容積比の観点から調整すると、圧粉磁心の鉄損をより低く性能的に向上できることを知見し、完成されたものである。すなわち、本発明の圧粉磁心は、磷酸塩化成処理液により表面に絶縁被膜を形成した圧粉磁心用金属磁性粉末と、熱硬化性樹脂とを用いたものであり、前記金属磁性粉末が前記絶縁被膜を $10\text{nm}$ 以上、 $100\text{nm}$ 以下の膜厚に処理したものからなり、圧粉磁心が、容積比で84%以上の前記金属磁性粉末と、1重量%以上の熱硬化性樹脂からなり、かつ固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上に形成されている。また、本発明の製造方法は、界面活性剤を含む磷酸塩化成処理液により表面に絶縁被膜を形成した金属磁性粉末と、熱硬化性樹脂とを混合した後、圧縮成形すると共に加熱硬化する圧粉磁心の製造方法において、前記金属磁性粉末として、使用金属磁性粉末の80重量%以上が前記絶縁被膜を $10\text{nm}$ 以上、 $100\text{nm}$ 以下の膜厚に形成したものをを用い、混合条件として前記熱硬化性樹脂粉末1重量%以上を前記金属磁性粉末と混合し、成形条件として、前記金属磁性粉末の圧粉磁心中の容積比を84%以上になるよう調整することにより、固有抵抗が $2\Omega\text{cm}$ 以上の圧粉磁心を得るものである。

#### 【0009】

【発明の実施の形態】本発明で使用される圧粉磁心用金属磁性粉末は、特願平8-133239号に記載されているように、磷酸塩化成処理液（磷酸、ほう酸、マグネシウムイオンを主とするもので、溶媒である水等に所定の混合率で溶かすと共に界面活性剤を0.01~1重量%の範囲で混入したもの）により金属磁性粉末（純鉄以外に、Fe-Si合金やFe-Al合金等の鉄系磁性合金粉末）の表面に絶縁被膜を形成したものである。熱硬化性樹脂粉末としては、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリアミド樹脂等が従来と同様に使用される。そして、本発明では、前記絶縁被膜を形成した金属磁性粉末と、熱硬化性樹脂粉末とを混合した後、圧縮成形すると共に加熱硬化するが、その際、成形条件として次のようなことが重要項目となる。なお、熱硬化性樹脂は、通常、樹脂粉末の状態で金属磁性粉末と混合されるが、それに限られず、樹脂粉末を溶媒に溶かした状態で金属磁性粉末と混合してもよいものである。

【0010】第1に、用いられる金属磁性粉末として、形成される絶縁被膜が $10\sim 100\text{nm}$ の膜厚、より好ましくは $30\sim 60\text{nm}$ の膜厚に形成されたものである。これは、後述する如く絶縁被膜の膜厚が $10\text{nm}$ 以上のものを用いると、磁束密度を維持して固有抵抗を $2\Omega\text{cm}$ 以上にすることができ、また、金属磁性粉末に形成された絶縁被膜の膜厚の増加に伴って固有抵抗が増加するが、 $100\text{nm}$ を越えると固有抵抗の増加率が減少すること、膜厚の増加にしたがい圧粉磁心中の金属磁性粉末の含める割合（容積比）が小さくなって、圧粉磁心の磁束密度を適正值に維持できなくなることに基づいている（図2、図3参照）。また、このように、上記の膜厚に形成した金属磁性粉末を100%用いることが最も好ましいが、前記した値の膜厚に形成した金属磁性粉末は、80重量%以上、より好ましくは90重量%以上の比率であってもよい。これは、磁束密度を低下することなく固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上を同様に維持できることが判明したことに基づいている（図4）。このような試験結果から、本発明は金属磁性粉末として、絶縁被膜を $10\text{nm}$ 以上、 $100\text{nm}$ 以下の膜厚に形成したものを、使用する金属磁性粉末の80重量%以上の比率で用いることが要件となる。

【0011】第2に、金属磁性粉末の圧粉磁心中の容積比を84%以上になるよう調整することである。これは、上記値の膜厚に形成した絶縁被膜付き金属磁性粉末を用いる場合、その絶縁被膜の膜厚、熱硬化性樹脂（粉末）の添加量、圧縮圧力等により金属磁性粉末の容積比が変わるが、その場合の基準となるものであり、上記成形条件にて作製された圧粉磁心試料について、固有抵抗と鉄損の関係、磁束密度に及ぼす金属磁性粉末の密度又は容積比の影響を調べた結果に基づいている（図1）。また、圧粉磁心としては、樹脂量が最低1重量%ないと固有抵抗値が $2\Omega\text{cm}$ 以上を満足できないこと（図5）から、使用する熱硬化性樹脂（粉末）に応じて金属粉末の圧粉磁心中の容積比の上限が定まる。

【0012】第3に、熱硬化性樹脂として熱硬化性樹脂粉末を用いる場合、使用樹脂粉末の平均粒径が $100\mu\text{m}$ 以下のものを、1~3重量%の範囲で添加することである。樹脂粉末の添加量は、少なすぎると強度的に充足し難くなり、また、金属磁性粉末同士が接触すると絶縁被膜が薄いため、絶縁が完全には為されず、圧粉磁心の固有抵抗が低下することになる。一方、添加量を多くするほど圧粉磁心の固有抵抗が増加するが、圧粉磁心中の金属磁性粉末の含める割合（容積比）が小さくなり、圧粉磁心の磁束密度が低下することになる。添加量として1~3重量%の値は試験からも好適であり（図5）、特に、上限が従来よりも低くなっている。また、樹脂粉末の添加量が同じ圧粉磁心であっても、固有抵抗が使用樹脂粉末の平均粒径（粒度）により大きく変動する。具体的には、上記した膜厚の絶縁被膜を形成した金属磁性粉

10

20

30

40

50

末を用いた場合、使用樹脂粉末として大きな粒度（平均粒度）のものほど固有抵抗が小さくなり、粒径が $100\mu\text{m}$ よりも大きなものを用いると、固有抵抗が $2\Omega\text{cm}$ よりも小さくなってしまふ（図6）。これは、大きな粒度の熱硬化性樹脂粉末を用いると、熱硬化性樹脂粉末が均一に分散されず、金属磁性粉末同士が接触する部分ができ、せっかく絶縁被膜を形成しても、絶縁が完全に行われない部分が発生するからである。一方、粒度の小さい熱硬化性樹脂粉末を用いると、樹脂が金属磁性粉末の周囲を完全に覆い絶縁が完全に為されるからである。

【0013】第4に、通常粉末冶金法で用いられるV型やWコーン型混合機を用いて金属磁性粉末と熱硬化性樹脂粉末とを混合する場合は、回転数が $15\sim 35\text{rpm}$ の条件で、少なくとも45分以上、好ましくは60分以上混合することである。これは混合時間45分以上で作製される圧粉磁心が固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上になるが、これ以下の混合時間では $2\Omega\text{cm}$ の固有抵抗を得ることができないことによる（図7）。この混合時間は、従来の常識よりかなり長い時間であり、混合時間が長くなると二次凝集した熱硬化性樹脂粉末が適度に粉碎されて、金属磁性粉末により均一に混合されることに起因しており、45分に満たない混合時間では二次凝集粉末の粉碎が完全には為されず残留する結果、大きな粒度の熱硬化性樹脂粉末を用いた場合と等しく、金属磁性粉末と熱硬化性樹脂粉末の分散が完全には為されず金属磁性粉末同士が接触し、絶縁が不完全な部分ができるからである。また、120分を超えて混合しても、二次凝集粉末の粉碎が完了し、金属磁性粉末と熱硬化性樹脂粉末が均一に分散した後は、長く混合しても意味はなく、いたずらに時間とエネルギーを費やすのみなので効果はない。

#### 【0014】

【実施例】以下の各実施例で作製された圧粉磁心（試料）は、成形条件として次の点で共通している。金属磁性粉末としては平均粒径が $70\mu\text{m}$ のアトマイズ球状鉄粉を用いた。磷酸塩化成処理液は、水1リットルに磷酸 $20\text{g}$ 、ホウ酸 $4\text{g}$ 、金属酸化物として $\text{MgO}$ を $4\text{g}$ 溶解し、界面活性剤としてEF-104（トーケミプロダクツ製）を用い、防錆剤としてベンゾトリアゾール $0.04\text{mol}$ を加えたものである。絶縁被膜の形成は、前記金属磁性粉末と前記磷酸塩化成処理液とを容器に入れ、定時間混合した後、恒温槽を用いて $180^\circ\text{C}$ で60分間乾燥した。絶縁被膜の厚さは、金属磁性粉末に対する磷酸塩化成処理液の添加量を変えることにより調整し、膜厚が異なる複数のものを作り使用した。これに対し、熱硬化性樹脂粉末としては何れもポリアミド樹脂を使用した。

【0015】金属磁性粉末と熱硬化性樹脂粉末との混合には、V型混合機を使用し、回転数 $25\text{rpm}$ の設定で行った。圧縮成形では、金属磁性粉末と熱硬化性樹脂粉末との混合物を金型に充填し、 $500\text{MPa}$ の圧力で圧

縮成形した。加熱処理は $200^\circ\text{C}$ で、4時間硬化した。これらは何れの試料の圧粉磁心でも同じである。また、鉄損の測定は $15\text{kHz}$ 、 $0.05\text{T}$ で行い、磁束密度の測定は $50\text{Hz}$ 、 $30\text{kA/m}$ で行った。また、容積比については、上記条件より求まる重量比を理論密度により容積比に換算して行い、膜厚についてはさらに、鉄粉の表面積より計算した理論膜厚値を用いた。

【0016】（実施例1）上記絶縁被膜付きの金属磁性粉末を用い、上記成形条件及び段落0006に記載した条件にて作製された圧粉磁心試料について、固有抵抗と鉄損の関係、磁束密度に及ぼす金属磁性粉末の密度や容積比の影響を調べた。このときの試験結果を図1、2に示す。各試料である圧粉磁心は、上記成形条件において、使用金属磁性粉末として膜厚の異なる絶縁被膜に形成されたものを使用し、それ以外（溶媒、使用熱硬化性樹脂粉末及び添加量、混合条件、圧縮圧力等）を全て同じ条件で作製したものをサンプリングしたものである。図1は各試料について、固有抵抗と鉄損とを測定した値をグラフにプロットし、図2は図1に使用した試料のうち、6つの試料を選んで磁束密度を測定し、その値と金属磁性粉末の密度及び容積比をグラフにプロットしたものである。

【0017】実施例1からは、先に開発した方法で絶縁被膜を形成した金属磁性粉末を用いた圧粉磁心の場合、図1のように、鉄損 $W(W/\text{kg})$ が固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ よりも小さくなると急速に高くなり、逆に固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上になると低くかつ安定した値になることと、図2のように、磁束密度 $B(\text{T})$ が使用金属磁性粉末の容積比(%)に比例して大きくなるが、その場合、磁束密度 $B(\text{T})$ として $0.8$ 以上にするには金属磁性粉末の容積比を $84\%$ 以上にしなければならないことが分かる。これらは、適正な磁束密度で、低鉄損である理想的な圧粉磁心を実現する上で、その磁心構成及び成形条件を決める際の目安を示唆するものである。

【0018】（実施例2）上記成形条件にて作製された圧粉磁心試料について、固有抵抗に及ぼす絶縁被膜の厚さの影響と、密度や金属磁性粉末の容積比に及ぼす絶縁被膜の厚さの影響を調べた。このときの試験結果を図3に示す。各試料である圧粉磁心は、上記成形条件において、図1の実施例と同様に使用金属磁性粉末として膜厚の異なる絶縁被膜に形成されたもの（絶縁被膜のないものも含む）を使用し、それ以外（溶媒、使用熱硬化性樹脂粉末及び添加量、混合条件、圧縮圧力等）を全く同じ条件で作製したものである。図3(a)は各試料について、絶縁被膜の膜厚とその固有抵抗を代表的なもののみグラフにプロットし、図3(b)は全試料について絶縁被膜の膜厚とその密度及び金属磁性粉末の容積比をグラフにプロットしたものである。

【0019】この試験例からは、図3(a)のように、膜厚が0つまり絶縁被膜がない金属磁性粉末を用いたも

のと、絶縁被膜を形成した金属磁性粉末を用いたものでは固有抵抗が明瞭に区別され、固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上にするには絶縁被膜の厚さが $10\text{nm}$ 以上のものを用いなければならないことと、絶縁被膜の厚さが約 $100\text{nm}$ 以上になると固有抵抗の増加率が減少し、しかも図3

(b)のように金属磁性粉末の容積比が $84\%$ 以下になり上記した磁束密度も低下することが分かる。これらは、適正な磁束密度で、低鉄損である理想的な圧粉磁心を得る上で、使用金属磁性粉末として、絶縁被膜の膜厚 $10\text{nm}$ 以上、 $100\text{nm}$ 以下のものが最も好ましいことを示している。

【0020】(実施例3) 実施例3は実施例2の変形であり、固有抵抗に及ぼす金属磁性粉末の未絶縁部の比率の影響を調べたときの一例である。各試料である圧粉磁心は、上記成形条件において、使用金属磁性粉末として上記絶縁被膜の膜厚が $30\text{nm}$ に形成されたものに、絶縁被膜を形成しないものを異なる比率(重量%)で混ぜ、それ以外(溶媒、使用熱硬化性樹脂粉末及び添加量、混合条件、圧縮圧力等)を全く同じ条件で作製したものである。このときの試験結果を図4に示す。この試験例からは、固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上を維持する上で、上記絶縁被膜付きの金属磁性粉末を必ずしも $100\%$ にする必要がなく、少なくとも $80\%$ 重量%の比率で用いればよいことが分かる。

【0021】(実施例4) 実施例4は、固有抵抗に及ぼす熱硬化性樹脂粉末の添加量(以下、樹脂量と略称する)の影響と、密度や金属磁性粉末の容積比が及ぼす絶縁被膜の厚さの影響を調べたときの一例である。各試料である圧粉磁心は、上記成形条件において、使用金属磁性粉末として絶縁被膜の膜厚が $30\text{nm}$ に形成されたものを使用し、使用樹脂量を $0\sim3.5$ 重量%の範囲で変えて、それ以外(溶媒、使用熱硬化性樹脂粉末、混合条件、圧縮圧力等)を全く同じ条件で作製したものである。このときの試験結果を図5に示す。図5(a)は各試料について、樹脂量とその固有抵抗をグラフにプロットし、図5(b)はそれについて樹脂量とその密度及び金属磁性粉末の容積比をグラフにプロットしたものである。

【0022】この試験例からは、図5(a)のように、樹脂量が0つまり熱硬化性樹脂粉末を添加しない圧粉磁心(単に圧縮により形状保持されている圧粉磁心)と、例えば $0.5$ 重量%添加した圧粉磁心では固有抵抗が大きく異なり、固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上にするには少なくとも $1$ 重量%の樹脂量を添加しなければならないことと、図5(b)のように $3$ 重量%の樹脂量を添加すると金属磁性粉末の容積比が $84\%$ 以下になり上記した磁束密度も低下することが分かる。これらは、適正な磁束密度で、低鉄損である理想的な圧粉磁心を得る上で、使用熱硬化性樹脂粉末として、 $1\sim3$ 重量%の範囲で添加することが最も好ましいことを示している。なお、樹脂量が

$1$ 重量%以上であることから強度的にも充足される。

【0023】(実施例5) 実施例5は実施例4の変形であり、固有抵抗に及ぼす熱硬化性樹脂粉末の粒径の影響を調べたときの一例である。各試料である圧粉磁心は、上記成形条件において、熱硬化性樹脂粉末として、その平均粒径が $10, 20, 30, 50, 100, 200, 300$ および $500\mu\text{m}$ のものを用い、それら粒径別に上記絶縁被膜の膜厚が $30\text{nm}$ に形成された金属磁性粉末に混ぜ、それ以外(溶媒、使用熱硬化性樹脂粉末及び添加量、混合条件、圧縮圧力等)を全く同じ条件で作製したものである。このときの試験結果を図6に示す。この試験例からは、固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上を維持する上で、同じ熱硬化性樹脂粉末であっても、その樹脂粉末の粒度(平均粒径)の相違により固有抵抗が大きく変わることと、 $2\Omega\text{cm}$ 以上を維持する上で、少なくとも平均粒径 $100\mu\text{m}$ 以下という微細なものが好適であると言える。

【0024】(実施例6) 実施例6は固有抵抗に及ぼす混合時間の影響を調べたときの一例である。各試料である圧粉磁心は、上記成形条件において、上記絶縁被膜付きの金属磁性粉末と熱硬化性樹脂粉末とを混合する場合、V型混合機を用いて、混合時間を除いて全く同じ条件で作製したものである。このときの試験結果を図7に示す。この試験例からは、混合時間が $60$ 分になるまで固有抵抗が大きく変わることと、固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上を維持する上で、少なくとも $40$ 分以上という長い時間にわたって混合しなければならないことが分かる。このような、混合時間の影響については、試験過程で知見したものであり、製造上、次に述べる理由により極めて重要な成形条件となる。すなわち、粉末冶金関係においては、V型混合機やWコーン型混合機等を用いて原材料を混合する場合、通常、回転数 $15\sim35\text{rpm}$ の設定で、必要とされる混合時間が長くて $20$ 分であり、製造上の誤差を見込んでも $30$ 分以内が常識となっている。ところが、上記した絶縁被膜付きの金属磁性粉末と熱硬化性樹脂粉末とを混合し、圧縮及び加熱硬化して圧粉磁心を作製する場合、混合時間を従来の粉末冶金法によるものよりも長くする必要があるからである。

【0025】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の圧粉磁心は、均一で良質な絶縁被膜を形成した金属磁性粉末を用いている磁心構成において、適正な磁束密度で、固有抵抗 $2\Omega\text{cm}$ 以上、すなわち低鉄損であるという高性能化が達成される。また、本発明の製造方法は、従来に比してよりの確な成形条件を解明したことから、高性能の圧粉磁心を確実かつ安定して量産することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を完成する上で、固有抵抗と鉄損との関係調べたときのグラフである。

【図2】本発明を完成する上で、磁束密度に及ぼす金属

磁性粉末の容積比の影響を調べたときのグラフである。

【図3】本発明において、固有抵抗に及ぼす絶縁被膜の厚さの影響、並びに金属磁性粉末の容積比に及ぼす絶縁被膜の厚さの影響を調べたグラフである。

【図4】本発明において、固有抵抗に及ぼす金属磁性粉末の未絶縁部の比率の影響を調べたグラフである。

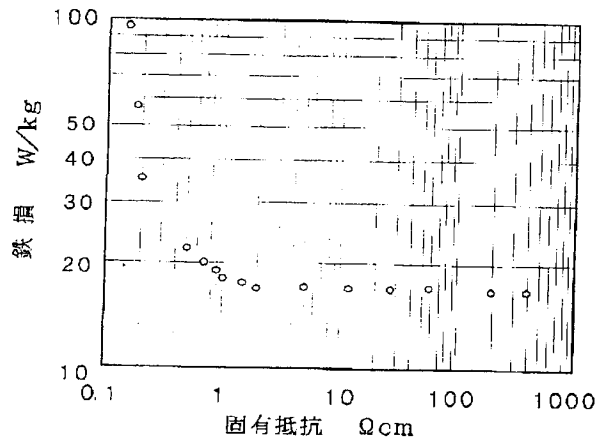
【図5】本発明において、固有抵抗に及ぼす樹脂量の影\*

\*響、並びに金属磁性粉末の容積比に及ぼす樹脂量の影響を調べたグラフである。

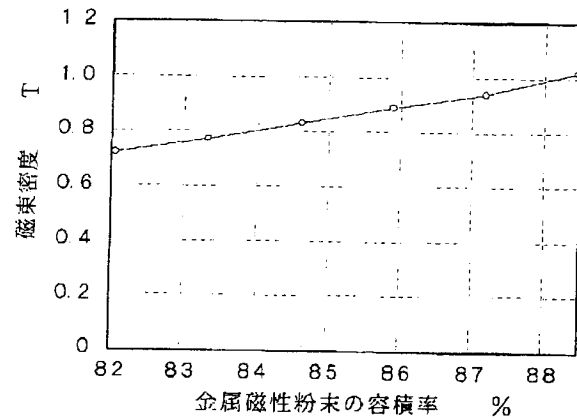
【図6】本発明において、固有抵抗に及ぼす樹脂粉末の粒度（平均粒径）の影響を調べたグラフである。

【図7】本発明において、固有抵抗に及ぼす混合時間の影響を調べたグラフである。

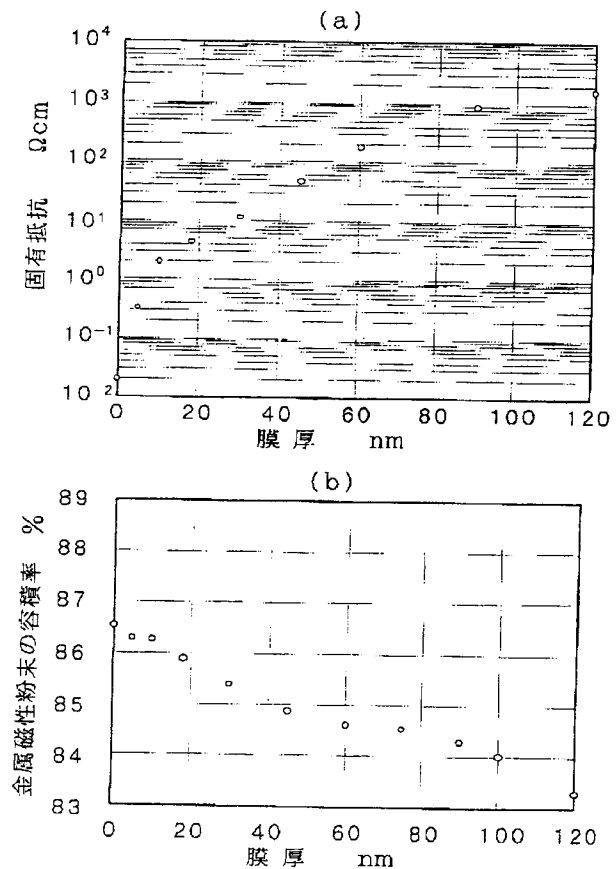
【図1】



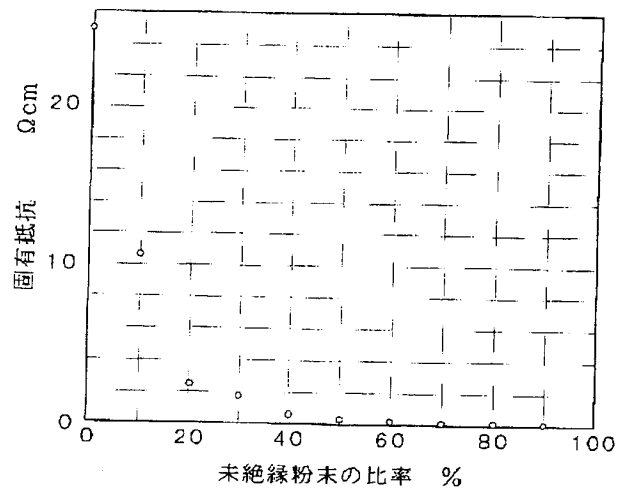
【図2】



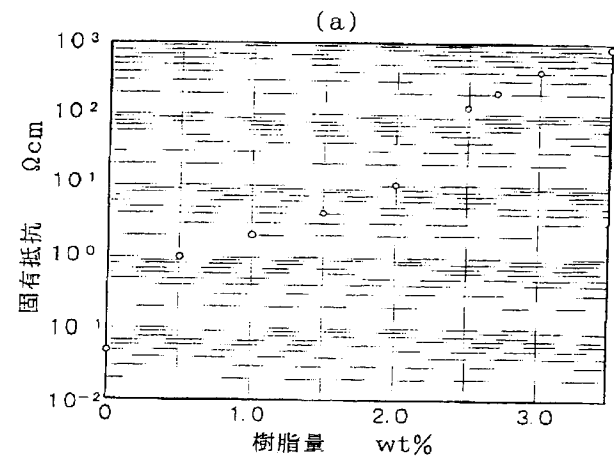
【図3】



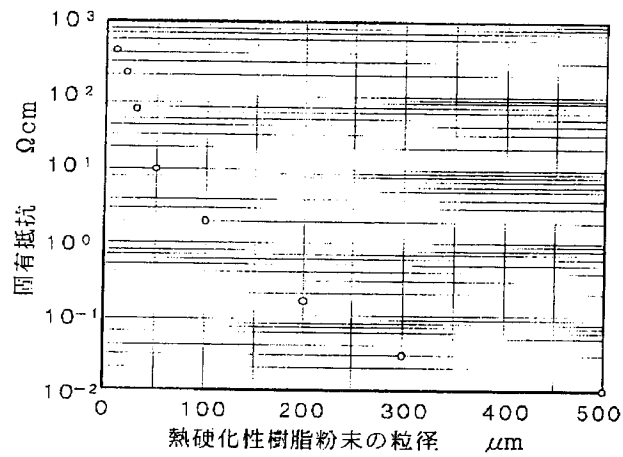
【図4】



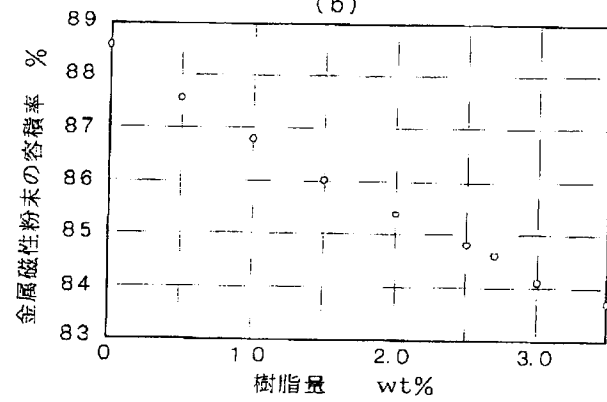
【図5】



【図6】



(b)



【図7】

